



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Laboratório de Sensoriamento e Análises Espaciais

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DELIMITADAS A PARTIR DE IMAGENS SRTM DA ÁREA METROPOLITANA DE BRASÍLIA – AMB: PLANEJAMENTO URBANO

BERNARDO BERGA CALIXTO

ORIENTADOR: PROF. CLAUSIO TAVARES VIANA TEZA

COORIENTADOR: PROF. DR. GUSTAVO MACEDO DE MELLO BAPTISTA

**TRABALHO PARA OBTENÇÃO DE TÍTULO DE ESPECIALISTA EM
GEOPROCESSAMENTO**

Brasília – DF, fevereiro de 2015

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DELIMITADAS A PARTIR DE IMAGENS SRTM DA ÁREA METROPOLITANA DE BRASÍLIA – AMB: PLANEJAMENTO URBANO

Bernardo Berga Calixto¹, Clausio Tavares Viana Teza², Gustavo Macedo de Mello Baptista³

¹Aluno de Pós-Graduação em Geoprocessamento Ambiental da Universidade de Brasília - UnB, Brasília, Distrito Federal, Brasil. Email: bernardocalixto@ambr.org.br

² Professor da Universidade Católica de Brasília

³ Professor da Universidade de Brasília – UnB, Doutorado em Geologia.

RESUMO

O objetivo desse estudo foi a caracterização, em nível de planejamento estratégico, das bacias hidrográficas da Área Metropolitana de Brasília – AMB, extraídas automaticamente com o uso do programa ArcGis 9.3, a partir de imagens SRTM disponibilizadas pelo projeto Relevo Brasil da Embrapa. Diante das 11 bacias delineadas, a AMB não se mostra, de maneira geral, propensa à enchentes, picos de vazão ou severos processos erosivos. Os parâmetros morfométricos calculados para as 11 bacias sugerem pobres drenagens, com valores abaixo de 0,5 km/km² para todas elas. Os formatos tendem a ser alongados e não circulares, com valores médios de Fator de forma (F) igual a 0,46 e de Coeficiente de Compacidade (Kc) e Índice de circularidade (Ic) iguais a 1,62 e 0,40, respectivamente. Os gradientes dos rios principais (Gp) se mantiveram com valores baixos, afastando alta tendência de carreamento de partículas, embora as curvas hipsométricas tragam uma análises pormenorizadas, demonstrando uma maior disposição ao erosivo às bacias cinco, seis e sete. Por meio de comparação analítica, entre as 11 bacias delineadas e o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – DF, verifica-se coerência com a base cartográfica do Governo do Distrito Federal - GDF.

Palavras-chave: SRTM, Modelos Digitais de Elevação – MDE, Bacias Hidrográficas e Parâmetros morfométricos.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF BASINS OUTLINED FROM SRTM IMAGES THE BRASILIAN METROPOLITAN AREA - BMA

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize, in strategic planning level, watershed of the Brazilian Metropolitan Area - AMB automatically extracted using the ArcGIS 9.3 program, from SRTM images provided by the project Brazil Relief of Embrapa. Given the 11 delineated basins, the BMA does not appear, in general, likely will flood, flow peaks or severe erosion. Morphometric parameters calculated for the 11 suggest poor drainage basins, with values below 0,5 km / km² for all of them. The formats tend to be elongated and not circular, with average values of Form factor (F) equal to 0,46 and Compactness coefficient (Kc) and Circularity index (Ic) equal to 1,62 and 0,40, respectively. The gradients of the main rivers (Gp) remained at low values, away from high possibility of particle entrainment, although the hypsometric curves bring one detailed analysis, demonstrating the trend towards greater erosion at five, six and seven basins. Through analytical comparison between the 11 delineated basins and the Integrated Management Plan for Water Resources of the Federal District - DF, consistency is verified with the basemap Government of the Federal District - GFD

Keywords: SRTM, Digital Elevation Models - DEM, Watershed and morphometric parameters.

Introdução

O uso de modelos digitais de elevação (MDE) representa uma alternativa para a realização de estudos geomorfométricos e ambientais em nível de bacias hidrográficas (OLIVEIRA *et al.*, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2013; ROCHA *et al.*, 2014), além de ser uma opção de minimização de tempo e recursos financeiros, em face aos levantamentos topográficos convencionais de campo (VALERIANO & ALBUQUERQUE, 2010).

A missão Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM, um projeto conjunto entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a National Imagery and Mapping Agency (NIMA), realizou o imageamento de aproximadamente 80% do globo, por meio da técnica de interferometria de radar, promovendo o reconhecimento da superfície terrestre e disponibilizando os MDEs gratuitamente (USGS). O fornecimento de MDEs para a América do Sul resultou em real aumento de estudos de extração de rede de drenagem e análises hidrológicas (BRUBACHER *et al.*, 2012).

De acordo com Valeriano (2008), os MDEs constituem arquivos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, formando células chamadas de *pixel*, contendo um valor altimétrico em cada uma delas. A partir de derivações geomorfométricas dos dados altimétricos é possível a obtenção de variáveis topográficas locais de declividade, orientação de vertentes e de curvaturas verticais e

horizontais, com ampla aplicação em estudos ambientais (VALERIANO & ALBUQUERQUE, 2010).

A manipulação do MDE é realizada através de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os quais possibilitam a integração de dados para uma análise do terreno (OLIVEIRA *et al.*, 2010) e a extração de informações topográficas, a partir de algoritmos de derivação geomorfométrica. A natureza digital desses dados processados em SIGs permite o cálculo de variáveis com qualidade aceitável e ganhos absolutos em velocidade e padronização (VALERIANO, 2008).

As análises em SIG possibilita estudos de diferentes complexidades, com o arranjo de diversos elementos topográficos e a aquisição de indicadores de forma e densidade, inclusive impulsionando aplicações em problemas específicos e novas concepções (VALERIANO & ALBUQUERQUE, 2010).

A forma do relevo é relacionada com as dinâmicas de distribuição dos materiais e energia, sendo o MDE uma fonte de informação cada vez mais confiável, podendo ser utilizado em estudos de diversos fenômenos, como hidrografia de bacias, erosão, fluxo de água, entre outros (VASCONCELOS *et al.*, 2012). Os algoritmos hidrológicos, invariavelmente, passam por derivações topográficas, por possuírem uma íntima ligação com o relevo.

Por sua vez, os parâmetros geomorfométricos de bacias hidrográficas permitem uma análise do comportamento hidrológico de uma região, subsidiando estudos de sustentabilidade, conservação e gestão dos recursos naturais (BRUBACHER *et al.*, 2012; VALERIANO, 2008). Miranda (2005) exalta a importância das análises topográficas para o desenvolvimento sustentável do Brasil, de maneira a subsidiar estudos de gestão de recursos hídricos, do solo, da flora e planejamento territorial, apoiando o zoneamento econômico-ecológico.

A abordagem ambiental é feita sobre as bacias hidrográficas, pois elas são tidas como áreas ideais de planejamento ambiental, capazes de servir como unidades de gestão de recursos e de uso e ocupação do solo, inclusive, aptas à aplicação de Avaliações Ambientais Integradas – AAIs e Avaliações Ambientais Estratégicas – AAEs, de maneira a integrar objetivos de desenvolvimento econômico e social e usos e controle ambiental dos recursos hídricos (TUCCI & MENDES, 2009).

Seja rural ou urbana, análises realizadas sobre as áreas de bacias hidrográficas mostram-se de suma importância na busca de uma conduta equilibrada de uso dos recursos naturais e sustentabilidade ambiental (ROCHA *et al.*, 2014).

Nesse contexto, o presente trabalho tem a Área Metropolitana de Brasília – AMB,

como área de estudo, sendo ela formada pelo Distrito Federal (DF) e municípios do Estado de Goiás em seu entorno, de alta dependência do DF. O DF abrigava cerca de 2.570.160 habitantes em 2010 e obteve um crescimento de 2,3% de 2000 a 2010. No mesmo período, o entorno apresentou um crescimento populacional da ordem de 2,6% (RIBEIRO, 2011).

Frente a relevância do Distrito Federal e a expansão urbana, Ribeiro *et al.*, (2012) constatou que existe no Distrito Federal uma enorme relação de Centro de Comércio e Serviços (CCS) que, apesar de apenas residenciar 9% da população no Plano Piloto, contém 82% dos empregos globais, contabilizando-se, também, os informais.

Como objetivo, buscou-se a extração de parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas delineadas automaticamente em SIGs, a partir de imagens SRTM, a fim de se obter uma visão ampla do território da AMB e seu comportamento hidrológico, para, assim, subsidiar ações de planejamento estratégico urbano, com uma ocupação racional do território, buscando condições de bem-estar e infraestrutura à população e garantindo a preservação dos recursos naturais água, solo e vegetação nativa.

Material e Métodos

O presente estudo abrange a Área Metropolitana de Brasília - AMB, com uma área de 30066 km², que contempla, além do

Distrito Federal, 11 municípios do Estado de Goiás, conforme figura 1.

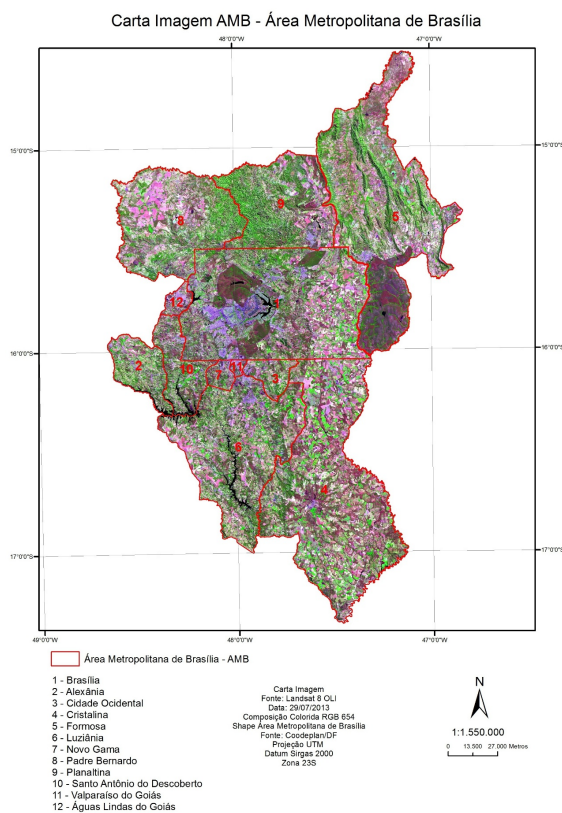


Figura 1: Área Metropolitana de Brasília

A AMB tem como limites as coordenadas UTM 109.093 E / 8.079.395 N e 302.923 E / 8.391.907 N, a partir do *shape* de municípios disponibilizado pela base de dados do Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás – SIEG/GO, na escala de 1:250.000.

Para a sua representação foram necessárias as seguintes 6 imagens SRTM, disponibilizadas pelo Projeto Brasil Relevo da Embrapa, articuladas em cartas compatíveis com a escala 1:250.000: SE 22-X-B; SD-22-ZD; SE-23V-C; SE-23-V-A; SD 23-Y-C; SD 23-Y-A.

O Projeto Relevo Brasil tratou os dados originais SRTM, com sua correção e padronização, de maneira a eliminar as falhas existentes, sombras e distorções, mantendo-se a mesma resolução espacial de 3 segundos de arco – aproximadamente 90 metros, o Sistema de Coordenadas Geográficas UTM e Datum WGS 84, embora disponibilize os MDEs em formato TIFF (MIRANDA, 2005).

Esse projeto também realizou a interpolação dos dados do MDE, através do módulo *Topogrid* do *Arcinfo*, de maneira a reduzir depressões espúrias e considerar um escoamento superficial contínuo, produzindo modelos digitais hidrológicamente consistentes – MDEHC (MIRANDA, 2005).

Os MDEHCs foram processadas no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIGs) do *software* ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008). Foram extraídas informações topográficas e realizadas análises hidrológicas, para, por fim, obter-se os parâmetros morfométricos das bacias delimitadas automaticamente pelo próprio programa. Utilizou-se ferramentas da extensão *Spatial Analyst Tools* do *Arc Toolbox*, com vistas à análise de terreno, determinação da rede de drenagem e delimitação topográfica das bacias.

O fluxograma – figura 2 – expõe as etapas metodológicas envolvidas, partindo-se do MDEHC, realizando primeiramente a análise hidrológica, depois a extração da rede de drenagem e por último a consecução das bacias hidrográficas.



Figura 2: Fluxograma com as etapas executadas para a delimitação das bacias hidrográficas.

A extração automática da drenagem ocorreu com o uso do algoritmo de fluxo *Deterministic Eight Directions* - D8, o qual se baseia na discretização das direções do fluxo em ângulos múltiplos de 45° - octantes, referindo-se às oito direções possíveis para o escoamento, correspondentes às oito células de vizinhança da célula em questão (FERNÁNDEZ, 2011).

Na determinação da rede de drenagem, o limiar numérico para a formação dos canais de drenagem, perante o *raster* de fluxo acumulado, foi feito tendo em vista a não ocorrência de linhas paralelas falsas de drenagem nas áreas de menor declividade, condição essa chamada de *feathering* (FERNÁNDEZ, 2011).

Os parâmetros morfométricos utilizados para a caracterização das bacias hidrográficas foram, dentre os lineares: i) Ordenamento da rede drenagem (O); ii)

Cumprimento do rio principal (L); iii) Cumprimento total da rede de drenagem (Lt); iv) Razão de bifurcação (Rb); v) Perímetro (P); e vi) Índice de sinuosidade (Is), dentre os espaciais: i) Área da bacia (A); ii) Fator de Forma (F); iii) Coeficiente de compacidade (Kc); iv) Índice de circularidade (Ic); v) Densidade de drenagem (Dd); e vi) Coeficiente de manutenção (Cm); e, dentre os hipsométricos: i) Gradiente do canal principal (Gp); ii) Índice de rugosidade (Ir); e iii) Curva hipsométrica.

A análise morfométrica das bacias foi baseada em Vilella & Mattos (1975) e Christofolletti (1980), com o inicial ordenamento dos canais da rede de drenagem, como proposto por Strahler (1957), no qual os canais de primeira ordem não possuem fluxos tributários e independem de serem a nascente do rio principal ou afluente. Como consequência, não se atribuiu a ordem do rio

principal e seus afluentes na totalidade das suas extensões.

Os canais de segunda ordem originam-se da confluência de dois fluxos de primeira ordem, e assim sucessivamente: a confluência de fluxos da mesma ordem (n) origina canais de ordem (n+1), podendo ter como tributários canais de ordem (n-1) até 1. É atribuída à própria bacia hidrográfica o maior ordenamento encontrado.

A delimitação das bacias hidrográficas foram restringidas às áreas de contribuição cujas drenagens atingissem ordenamento de 4ª ordem ou superior. Evitou-se assim bacias diminutas, inclusive aquelas com apenas um canal de drenagem de 1ª ordem ou sem a completa dimensão de sua drenagem e divisores topográficos.

Mesmo não sendo o rio principal considerado no ordenamento de Strahler (1957), adotou-se, no presente trabalho, a metodologia utilizada por Marcuzzo *et al.* (2012) para a determinação do Comprimento do rio principal (L), levando-se em conta o curso d'água de maior extensão desde exutório até a determinada nascente.

Esse critério para a definição do rio principal é, segundo Christofolletti (1980), prático, além de se relacionar com os aspectos morfológicos e topográficos da rede de drenagem.

O comprimento total da rede de drenagem (Lt) é simplesmente a soma de todos os canais de drenagem.

A Razão de bifurcação (Rb), fórmula 1, é obtida com a relação entre a quantidade de canais de uma ordem (n) e a quantidade de canais de ordem (n+1). Revela a variação do números de canais pela variação da ordem dos canais (HORTON, 1945):

$$Rb = \frac{N(u)}{N(u+1)} \quad (\text{adm}) \quad [1]$$

Com a Rb pode-se inferir sobre a composição da rede de drenagem e a tendência de evolução dos canais. Em bacias com vales e montanhosas espera-se um valor de Rb entre 3 e 4 (HORTON, 1945).

O Índice de sinuosidade (Is) representa a relação do Comprimento do rio principal (L) com a distância vetorial (Dv) que liga o seu exutório até a nascente, demonstrando a proximidade de seu curso ao de uma reta, quando o valor de Is tende a um, conforme fórmula 2:

$$Is = \frac{L}{Dv} \quad [2]$$

Segundo Christofolletti (1980), o rio principal que apresenta um Is a partir de 1,5 é considerando como um canal sinuoso, exibindo meandros, os quais tendem a estarem associados aos baixos cursos dos rios, com predomínio de partículas da fração silte-argila e alta carga em suspensão (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na consideração da área da bacia (A) tem-se, em km² ou hectares, a área plana delimitada por seus divisores topográficos e

constitui um elemento básico para o cálculo dos demais parâmetros morfométricos espaciais (VILELLA & MATTOS, 1975).

O Fator de forma (F) relaciona a proximidade da bacia ao formato de um quadrado, de forma a ser mais sujeita à enchente quanto mais se assemelhar à forma geométrica, sendo expresso pela razão entre a área (A) e o quadrado do comprimento axial da bacia (Laxial), fórmula 3:

$$F = \frac{A}{L_{axial}^2} \text{ (adm)} \quad [3]$$

A inferência de semelhança do formato da bacia hidrográfica a um quadrado ocorre quando F é um número próximo a um. De maneira contrária, a bacia tende a um formato alongado.

A fórmula do Coeficiente de compacidade (Kc) relaciona o perímetro (P) da bacia hidrográfica com a circunferência de área igual a da bacia – fórmula 4, e expressa sua proximidade à forma de um círculo para valores próximos de um.

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \text{ (adm)} \quad [4]$$

Para os valores que se aproximam de um, existe uma maior confluência do escoamento superficial a um ponto comum da bacia, exibindo maiores propensões à enchentes (ROCHA *et al.*, 2014).

Na determinação do Índice de circularidade (Ic), conforme Miller (1953)

apud Christofletti (1980), é relacionada a área da bacia hidrográfica (A) com a área da circunferência de igual perímetro (p) ao da bacia, de maneira a revelar a proximidade de seu formato ao da circunferência de referência, na medida em que o Ic se aproxima do valor um, conforme a fórmula 5:

$$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \text{ (adm)} \quad [5]$$

Os valores do Ic nunca são maiores que um e tendem a valores pequenos quanto mais alongada for a bacia (FERNÁNDEZ, 2011).

As bacias alongadas não apresentam escoamentos para um único ponto da bacia hidrográfica, a partir de um evento chuvoso, de maneira a minimizar as chances de produção de cheias, em contraste com uma de formato circular.

A Densidade de drenagem (Dd), fórmula 6, é tida como a relação entre o comprimento total dos canais de drenagem (Lt) de uma bacia hidrográfica pela própria área (A) da bacia (HORTON, 1945).

$$Dd = \frac{L_t}{A} \text{ (km/km}^2\text{)} \quad [6]$$

Baixas densidades sugerem uma alta taxa de infiltração, enquanto que valores altos apontam para um alto escoamento superficial (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Os diferentes tipos de rocha é um fator importante nessa dicotomia entre infiltração e escoamento superficial, sendo aquelas de

granulometria mais fina ligadas a uma melhor esculturação de canais e as mais grosseiras à influência da infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980).

De acordo com Vilella e Mattos (1975), bacias pobres em drenagem possuem uma Dd em torno de 0,5 km/km², enquanto que as bem drenadas apresentam valores de 3,5 km/km² ou mais.

Para a obtenção do Coeficiente de Manutenção (Cm), é considerado o inverso da Densidade de drenagem, demonstrando a área necessária para sustentar uma dimensão linear do curso d'água:

$$Cm = 1000 \times \frac{1}{Dd} \text{ (km}^2/\text{km)} \quad [7]$$

Christofoletti (1980) considera o Cm um importante índice, pois revela a potencialidade de erosão e modelagem do relevo da bacia.

Nas análises hipsométricas, o Gradiente do canal principal (Gp), fórmula 8, demonstra a declividade do curso d'água e a sua propensão de carreamento de partículas, sendo calculado, em porcentagem, pela razão entre a amplitude altimétrica do canal principal (H) e seu comprimento (L) (HORTON, 1975).

$$Gp = \frac{H}{L} * 100 \quad [8]$$

O Índice de rugosidade (Ir) é calculado com a simples multiplicação da

amplitude altimétrica de toda a bacia higrográfica (Hm) e sua densidade de drenagem (Dd), conforme fórmula 9, e indica a proximidade entre o interflúvio e os canais de drenagem (ALMEIDA *et al*, 2013).

$$Ir = Hm * Dd \text{ (m/km)} \quad [9]$$

Para a obtenção das curvas hipsométricas, que representam a distribuição do volume rochoso abaixo da superfície topográfica e permite a visualização da porcentagem da área drenada em relação a uma dada altitude (VILELLA & MATTOS, 1975), utilizou-se a ferramenta *Zonal Statistics* do *Spatial Analyst Tools* do *Arc Toolbox* do ArcGis.

3. Resultados e Discussões

3.1. Bacias Delineadas

A delimitação automática das bacias hidrográficas para a Área Metropolitana de Brasília – AMB pelo ArcGis 9.3, de acordo com a restrição metodológica de não se considerar como formadoras de bacia aquelas drenagens abaixo da 4ª ordem de Strahler (1957), é apresentada na figura 3.

Dessa maneira, nem toda drenagem e sua respectiva área de contribuição foi atribuída à formação de uma bacia hidrográfica, conforme detalhes da figura 3, em que se observa as drenagens de 1ª, 2ª e 3ª ordem. Essa restrição ocorreu tendo em vista o propósito de planejamento urbano do

presente trabalho, evitando-se análise sobre bacias hidrográficas pequenas ou com baixo alcance do desenvolvimento das drenagem ou delimitação topográfica.

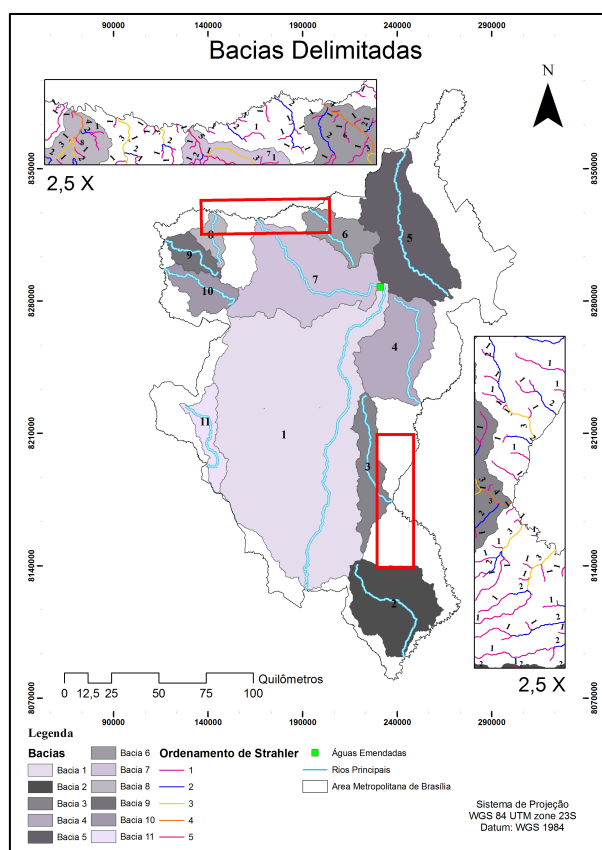


Figura 3: Bacias delimitadas na Área metropolitana de Brasília.

Observou-se justamente que as áreas que foram excluídas são adjacentes aos limite da AMB, fato esse que faz sentido, já que a AMB é uma divisão política, sendo incapaz de representar unidades de gestão ambiental em seu todo.

Foram consideradas 11 bacias, as quais contemplam 71, 5 % de toda a área da AMB. Tiveram como objetivo servirem de unidades de planejamento para a correta ocupação do território e centros urbanos pelo ser humano, com o gerenciamento integrado

dos recursos naturais água, solo e vegetação, e, assim, conseguir um ideal de gestão da AMB e do meio ambiente.

A partir de uma comparação analítica, entre as bacias extraídas no presente estudo e as do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF, figura 4, verificou-se congruência entre as bacias hidrográficas, a começar pela região das águas emendadas – DF, a partir da qual origina-se a bacia do Rio Maranhão ao norte e a bacia do Rio São Bartolomeu ao sul.

A análise foi feita, também, com o auxílio da figura 5, sendo as bacias delineadas no presente trabalho, por vezes mais abrangentes e por outras mais fragmentadas em relação às do PGIRH/DF.

Assim, a bacia delineada de número um, contempla as bacias hidrográficas do Corumbá, Lago Paranoá, Rio Descoberto e São Bartolomeu todas pertencentes à unidade hidrográfica do Paraná (GDF, 2012).

Essa grande região hidrográfica do Paraná, engloba a bacia do São Marcos, a qual, no presente estudo, apareceu de maneira separada, nas denominadas bacias dois e três.

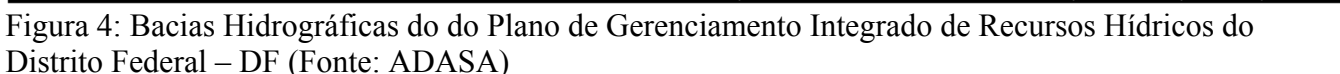
Constata-se, também, que a bacia 11 é pertencente à bacia hidrográfica do Corumbá, mas ela não foi aglomerada à bacia um.

A bacia quatro, corresponde à bacia do Rio Preto, pertencente a região hidrográfica do São Francisco (GDF, 2012)

Por sua vez as bacias, seis, sete, oito, nove e dez apareceram em separado, porém

Além das bacias que fazem parte das

como a bacia hidrográfica do Rio Paranã.



3.2. Parâmetros Lineares

A tabela 1 traz os parâmetros lineares calculados para as 11 bacias demarcadas. Elas são de 4º ordem (bacias 2, 3, 6, 8, 9, 10, 11) ou de 5º ordem (bacias 1, 4, 5, 7).

Os comprimentos dos rios principais das bacias variaram de 34,11 km a 213,40 km, tendo como maior expressão a bacia um, seguida pela bacia cinco, com o comprimento

de 112,80 km, e como de menor expressão, a bacia oito.

Com exceção das bacias dois e seis, quanto maior o curso do rio principal, maior foi o comprimento total dos canais que formam a drenagem das bacia.

As bacias de maior perímetro foram, decrescentemente, as de número um, sete e cinco. Já as menores, crescentemente, foram as bacias oito, nove e dez.

Em relação às Razões de bifurcação (Rb), foram calculadas as taxas de variação do número de canais pelo ordenamento dos canais, e observou-se, na sua maioria, valores de Rb próximas de dois.

Segundo Horton (1945), esses valores próximos de dois são esperados para bacias

hidrográficas com relevo liso ou ondulado.

A exceção ocorreu na bacia um com um valor de Rb igual a 4,94, mostrando, que, na média, existem quase cinco vezes mais canais de uma ordem em comparação com a ordem imediatamente superior, sugerindo um relevo montanhoso.

Tabela 1: Parâmetros lineares.

Bacias		Parâmetros Lineares				
	Ordem da Bacia	Cumprimento do Rio Principal (Km)	Comprimento total dos canais (Km)	Perímetro (km)	Razão de Bifurcação	IS (adm.)
1	5 ^a	213,40	3086,27	568,58	4,94	1,28
2	4 ^a	78,30	511,39	194,55	1,98	1,42
3	4 ^a	69,98	254,91	220,08	2,10	1,21
4	5 ^a	79,06	506,88	203,54	2,36	1,36
5	5 ^a	112,80	939,55	280,14	2,12	1,38
6	4 ^a	47,37	220,46	143,09	2,14	1,25
7	5 ^a	102,59	905,28	305,94	2,14	1,41
8	4 ^a	34,11	100,11	93,87	2,84	1,25
9	4 ^a	47,43	133,52	106,77	2,52	1,45
10	4 ^a	58,06	204,63	132,01	2,26	1,49
11	4 ^a	54,65	167,30	166,79	2,25	1,67

Rahman *et al.* (2010), avaliando as limitações dos dados brutos do SRTM, observaram valores de Rb entre 2,00 e 7,00, para diversas bacias em diferentes regiões topográficas de Bangladesh.

Os Índices de sinuosidade (Is) obtidos exibem que a maioria dos cursos dos rios principais tendem a não ser sinuosos, apresentando valores de Is abaixo de 1,5.

A bacia dez praticamente apresentou um curso sinuoso, com um valor de Is igual a 1,49, enquanto que o da bacia onze, com um valor de 1,67, foi tido como sinuoso.

Esses maiores valores de Is, demonstram cursos dos rios principais com a

possível ocorrência de meandros, verificando-se um processo contínuo de escavação na margem côncava e processo deposicional na margem convexa desses meandros (CHRISTOFOLETTI, 1980).

3.3 Parâmetros Espaciais

A AMB apresentou bacias de diversos tamanhos, com expressivas variações de áreas – tabela 2. A bacia um é a mais extensa com uma área de 9667 km², contemplando, conforme a figura 5, vários municípios da AMB: Águas Lindas de Goiás, Cidade Ocidental, Cristalina, Distrito Federal,

Luziânia, Novo Gama, Santo Antônio do Descoberto e Valparaíso de Goiás. Em especial, essa bacia chega a ocupar 62,5 % do DF e 32% da AMB.

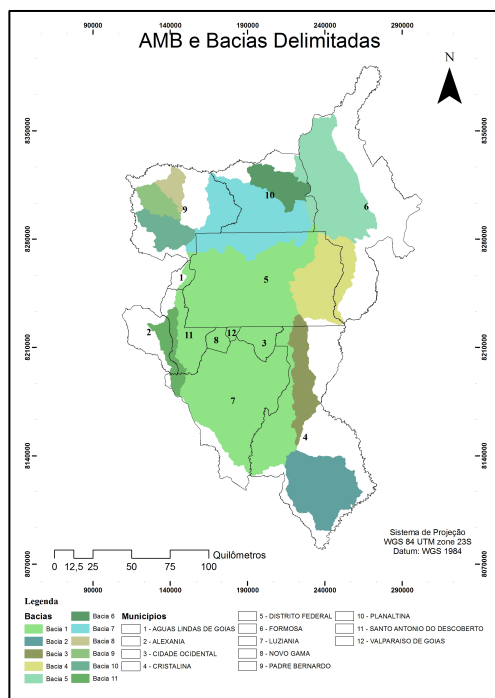


Figura 5: Bacias delimitadas e os municípios da AMB.

De maneira contrária, o município de Padre Bernardo engloba na totalidade a bacias

oito – de menor área: 287,32 km², e as bacias nove e dez, além de possuir parte da bacia sete. Em relação aos formatos das bacias, de acordo com o Fator de forma (F), a maioria das bacias tende a ser alongada, observando-se valores próximos de zero.

O formato alongado não favorece a produção de picos de vazão ou enchentes, uma vez que o fluxo de um evento chuvoso não se direciona a um único ponto da bacia.

O menor valor observado é o da bacia três, com um valor igual a 0,26, seguida pela bacia onze, com um valor de 0,30. Nessa mesma tendência, tem-se a bacia um, cinco, oito, dez e onze.

Já as bacias dois, seis e sete, possuem valores mais próximos de um, podendo-se inferir que seus formatos tendem a um quadrado, demonstrando maiores chances para que ocorra eventos de cheia.

Pelo Coeficiente de compacidade (Kc), não se observa valores muito próximos

Tabela 2: Parâmetros espaciais.

Bacias	Parâmetros Espaciais					
	Área da Bacia (km ²)	Fator de Forma (F)	Coeficiente de Compacidade (Kc)	Índice de Circularidade (Ic)	Densidade de Drenagem (km/km ²)	Coeficiente de Manutenção (km ² /km)
1	9667,42	0,38	1,62	0,38	0,32	3132,40
2	1702,95	0,67	1,32	0,57	0,30	3330,05
3	879,80	0,26	2,08	0,23	0,29	3439,60
4	1661,65	0,49	1,40	0,50	0,30	3278,21
5	2479,63	0,39	1,57	0,40	0,38	2639,18
6	648,87	0,71	1,57	0,40	0,34	2943,22
7	2670,99	0,78	1,66	0,36	0,34	2950,47
8	287,32	0,33	1,55	0,41	0,35	2870,12
9	387,00	0,42	1,52	0,43	0,34	2898,34
10	578,10	0,36	1,53	0,42	0,35	2825,09
11	544,30	0,30	2,00	0,25	0,31	3253,72

de um, de maneira a não indicar a aproximação dos formatos das bacias a um círculo, não sugerindo propensões à cheias, por convergência de um mesmo fluxo a um mesmo ponto das bacias da AMB (FERNÁNDEZ, 2011).

Da mesma forma, o Índice de circularidade (I_c), não indica que as bacias se assemelhem a uma circunferência, não havendo a ocorrência de valores próximos ao valor um, não sugerindo eventos de picos de vazão.

A bacia dois é a que exhibe os valores mais próximos de um, tanto para o K_c quanto para o I_c , com valores de 1,32 e 0,57, respectivamente, sendo a mais propensa à produção de enchentes.

Assim, essa bacia foi identificada como a que tem o formato com maior capacidade de convergir o escoamento superficial a uma mesma região da bacia.

Sob o aspecto da Densidade de drenagem (D_d), observou-se apenas valores abaixo de $0,5 \text{ km/km}^2$. Assim, todas as bacias foram classificadas como mal drenadas, o que sugere maior predominância de infiltração nas bacias, inferindo-se a existência de solos com uma alta capacidade de infiltração (HORTON, 1945).

A bacia três foi a que apresentou a menor D_d , com um valor de $0,29 \text{ km/km}^2$, seguida pelas bacias dois e quatro, ambas com um valor de $0,30 \text{ km/km}^2$.

Já a bacia cinco, com uma D_d igual a $0,38 \text{ km/km}^2$, foi a mais bem drenada de toda

a área, sugerindo possuir a melhor condição litológica e pedológica que favoreça a escavação de canais dentre as demais bacias.

Embora tenham sido observados somente valores baixos de Densidade de drenagens, o ponto de escolha do limiar de consideração para formação dos cursos d'água, perante o *raster* de fluxo acumulado, não foi restritiva, reconhecendo-se 99,95 % dos valores.

Com relação ao Coeficiente de manutenção (C_m), verifica-se que é necessário, em média, uma área na ordem dos 3 km para que exista um metro de drenagem.

A bacia com maior predisposição para que ocorra um canal de drenagem, necessita de 2,6 km para sustentar 1 m de drenagem.

Em contraponto, tem-se que a bacia três necessita de 3,4 km para haver um metro de drenagem.

3.3. Parâmetros Hipsométricos

A tabela 3 relaciona os parâmetros hipsométricos calculados para as 11 bacias. Em relação aos valores dos Gradiente do rio principal (G_p), tem-se a bacia oito com a maior variação, em média, de altitude em relação à medida linear horizontal, ao apresentar um valor de 0,96 %.

Juntamente, as bacias nove e dez, com valores de 0,72 % e 0,82 %, respectivamente, são as que exibem maior propensão ao carreamento de partículas pelo rio principal.

Embora, dentre as bacias delineadas

neste estudo, as citadas acima tendem a ser mais propensas ao carreamento de partículas, todas apresentaram um baixo valor de Gp.

Tabela 3: Parâmetros Hipsométricos

Bacias	Parâmetros Hipsométricos	
	Gradiente do rio Principal (%)	Índice de Rugosidade (m/km)
1	0,18	197,93
2	0,48	139,64
3	0,29	120,36
4	0,18	96,70
5	0,34	302,37
6	0,61	190,95
7	0,48	247,08
8	0,96	138,67
9	0,72	212,54
10	0,82	264,06
11	0,27	89,74

Almeida *et al.* (2013) encontraram valores de Gradientes dos rios principais (Gp) das bacias de sua pesquisa, no município de Luziânia (GO), que variaram de 1,28 a 7,73 %, ao estudarem os processos erosivos e de aporte de sedimentos no reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá IV.

As bacias um e quatro, ambas com um valor de Gp igual a 0,18 %, foram as que menor possuem a tendência ao carreamento de sedimentos pelo leito do rio principal.

Os Índices de rugosidade (Ir) de maior valor foram, decrescentemente, os das bacias

cinco, dez, sete e nove, respectivamente: 302,37 m/km, 264,06 m/km, 247,08 m/km e 212,54 m/km. Esses valores indicam as maiores distâncias existente entre os interflúvios e os canais de drenagem.

Os menores valores são os das bacias onze e quatro, sendo elas mais propensas a ocorrência de picos de vazão e cheias.

Por sua vez, a partir das curvas hipsométricas – Figura 6, é possível realizar uma análise fracionadas de cada uma das bacias, uma vez que revelam a distribuição altimétrica, em relação a suas áreas acumuladas (FERNÁNDEZ, 2011).

As bacias três, quatro e onze são as que apresentam maior uniformidade na distribuição das altitudes, não havendo, praticamente, variação abrupta ao longo de toda as áreas das bacias.

Já as curvas hipsométricas das bacias oito e nove e dez, demonstram que nelas existem localidades com maiores variações altimétricas, sendo essas áreas correspondentes, respectivamente, a 10 %, 8 % e 8 % do total das áreas. O restante de suas áreas possui uma distribuição mais suave e homogênea.

Já as bacias cinco, seis e sete apresentam maiores variações de altimetria ao longo de suas áreas, demonstrando uma maior tendência ao processo erosivo, quando tudo mais constante, não se levando em consideração outros fatores relacionados com o fenômeno da erosão.

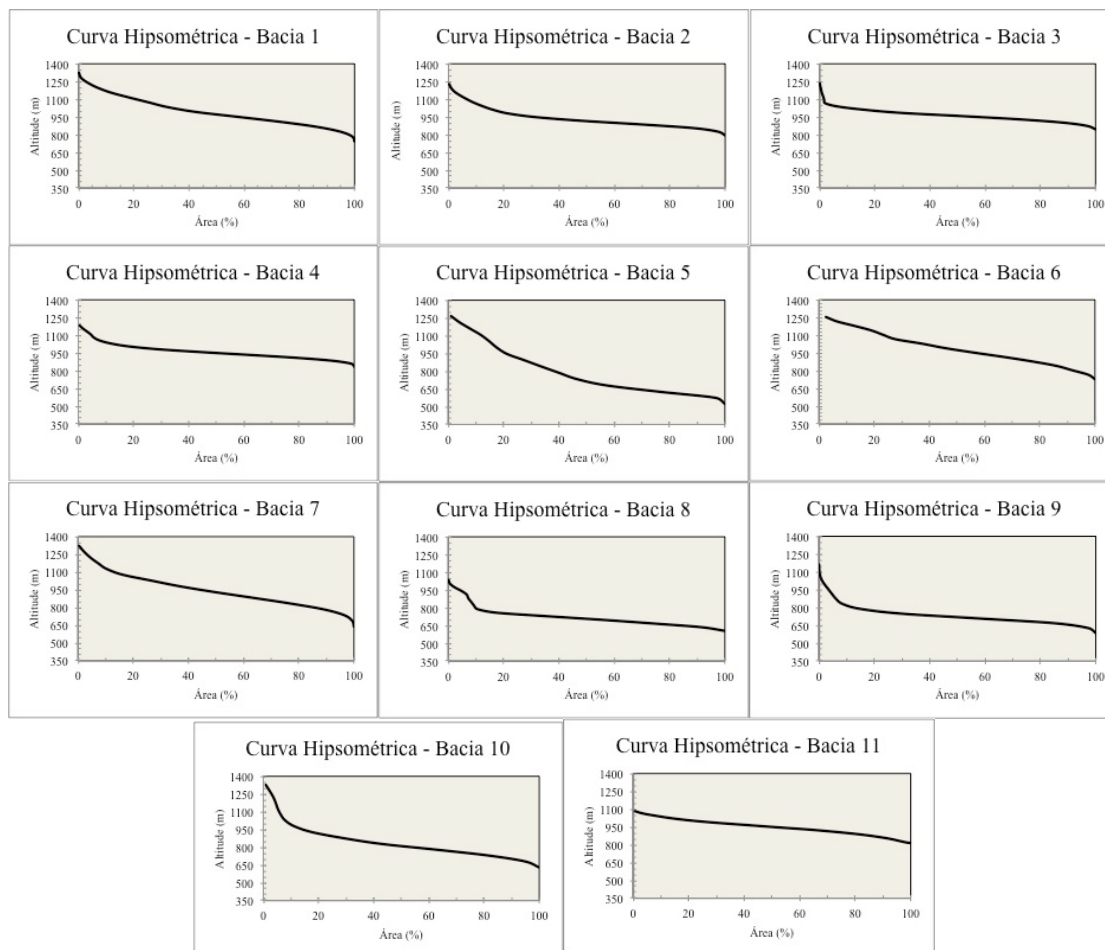


Figura 6: Curvas hipsométricas das 11 bacias delineadas na Área Metropolitana de Brasília.

4. Conclusão

A Área Metropolitana de Brasília, demonstra não ser uma área com grandes propensões à enchentes e ocorrências de picos extremos de vazão, como se depreende dos resultados dos parâmetros morfométricos obtidos.

Os baixos valores de Razão de bifurcação (R_b) encontrados, indicam que existe o predomínio de relevo liso a ondulado na AMB.

Quanto aos formatos das onze bacias delineadas, verifica-se uma tendência delas serem alongados e não se assemelharem a um formato circular.

Ressalva-se que a bacia dois obteve o formato mais próximo ao de um círculo, sendo capaz de convergir rapidamente o fluxo hídrico para um ponto específico da bacia, exibindo maior chance de produzir cheias.

As Densidades de drenagem (D_d) calculadas para as 11 bacias do presente estudo foram classificadas como mal drenadas, apresentando valores abaixo de $0,5 \text{ km/km}^2$, predominando o processo de infiltração sob a esculturação de canais.

Existe a necessidade de novos estudos para que se reafirmem os baixos valores de D_d encontrados.

Da mesma maneira, somente foram obtidos valores baixos para os Gradientes dos

rios principais (Gp), para todas as bacias delineadas, não se evidenciando maiores tendências ao carreamento de partículas.

Porém, diante da análise das curvas hipsométricas, percebe-se que as bacias cinco, seis e sete são aquelas com maior susceptibilidade ao processo erosivo.

As bacias extraídas no presente estudo foram compatíveis com as do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – DF, sendo elas, por vezes mais abrangentes e por outras mais fragmentadas.

A AMB é essencialmente uma divisão política, baseada nos limites dos municípios já existentes, e como tal, fica evidente que seus limites não constituem os mesmos que permeiam uma análise ambiental.

As diferentes áreas políticas devem possuir esforços conjuntos, de maneira a serem assertivas e buscar um ideal de qualidade de vida urbana, por meio de planejamento e gestão da ocupação territorial e dos recursos naturais.

5. Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, W. S. de; SOUZA, N. M. de; JUNIOR, D. S. R.; CARVALHO, J. C. de. **Análise Morfométrica em Bacias Hidrográficas Fluviais como Indicadores de Processos Erosivos e Aporte de Sedimentos no Entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV**. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 14. n. 2, 2013.
- ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/mapas/bacias%20do%20pgirh.pdf>>. Acesso: 15 de dezembro de 2014.
- BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. de.; GUASSELLI, L. A.; LUERCE, T. D. **Avaliação de Bases SRTM para Extração de Variáveis Morfométricas e de Drenagem**. São Paulo: Geociências. v. 31, n. 3, p. 381 – 393, 2012.
- CHISTOFOLETTI, A. **A Geomorfologia: a análise de bacias hidrográficas**. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980. 198 p.
- ESRI. Geoprocessing in Arc Gis 9.3. Redlands, CA, US: ESRI. 2008, 374 p.
- FERNÁNDEZ, D. C. J. **Avaliação de Algoritmos e Modelos Digitais de Elevação para Extração Automática da Drenagem**. São José dos Campos: INPE, 2011. 92 p.
- GDF – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL, 2012. **Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal – PGRIH/DF**. Relatório final, volume I – diagnóstico. Brasília – DF.
- HORTON, R. **Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of American Bulletin, New York, v. 56, n. 3, p. 275 – 370.
- MARCUZZO, F. N.; OLIVEIRA, N. L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. **Detalhamento Hidromorfométrico da Bacia do Rio Paraíba**. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2012. 20 p.
- MILLER, V. C. **A Quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clich Mountain Area**. Technical Report (1963). Departament Geology, Columbia University.

- MIRANDA, E. E.; (Coord). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acessado em: 1 de novembro 2014.
- OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. **Caracterização Morfométrica de Bacias Hidrográficas Através de Dados SRTM**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 14, n. 8, p. 819 – 825, 2010.
- RIBEIRO, R. J. da C. **A Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal (RIDE-DF) no Censo de 2010**. 2011. Disponível em: <http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/DF_Censo_2010.pdf>. Acessado em: 15 de novembro 2014.
- RIBEIRO, R. J. da C.; HOLANDA, F.; COELHO, J. **Índices de Qualidade Configuracional Urbana – O caso do Distrito Federal, Brasil**. Eure. v. 38. n. 114, p. 229 – 255, 2012.
- ROCHA, R. M.; LUCAS, A. A. T.; ALMEIDA, C. A. P. de; NETO, E. L. M.; NETTO, A. de O. A. **Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia do Rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil**. Revista Ambiental e Água. v. 9. n. 2, p. 276 – 287, 2014.
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso: 20 de novembro de 2014.
- STRAHLER, A. N. **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology**. Transactions of American Geophysical Union, v. 8, n. 6, p. 913 – 920, 1957.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 302 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov>>. Acesso: 15 de novembro 2014.
- VALERIANO, M. M. **Topodata: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p.
- VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: Processamento dos Dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. 79 p.
- VASCONCELOS, V.; JÚNIOR, O. A. C.; MARTINS, E. S.; JUNIOR, A. F. C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. **Sistema de Classificação Geomorfométrica Baseado em Uma Arquitetura Sequencial em Duas Etapas: Árvore de Decisão e Classificação Espectral, no Parque Nacional da Serra da Canastra**. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 13. n. 2, p. 171 – 186, 2012.
- VILELLA, S. M.; MATTOS A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw – Hill, 1975. 245 p.